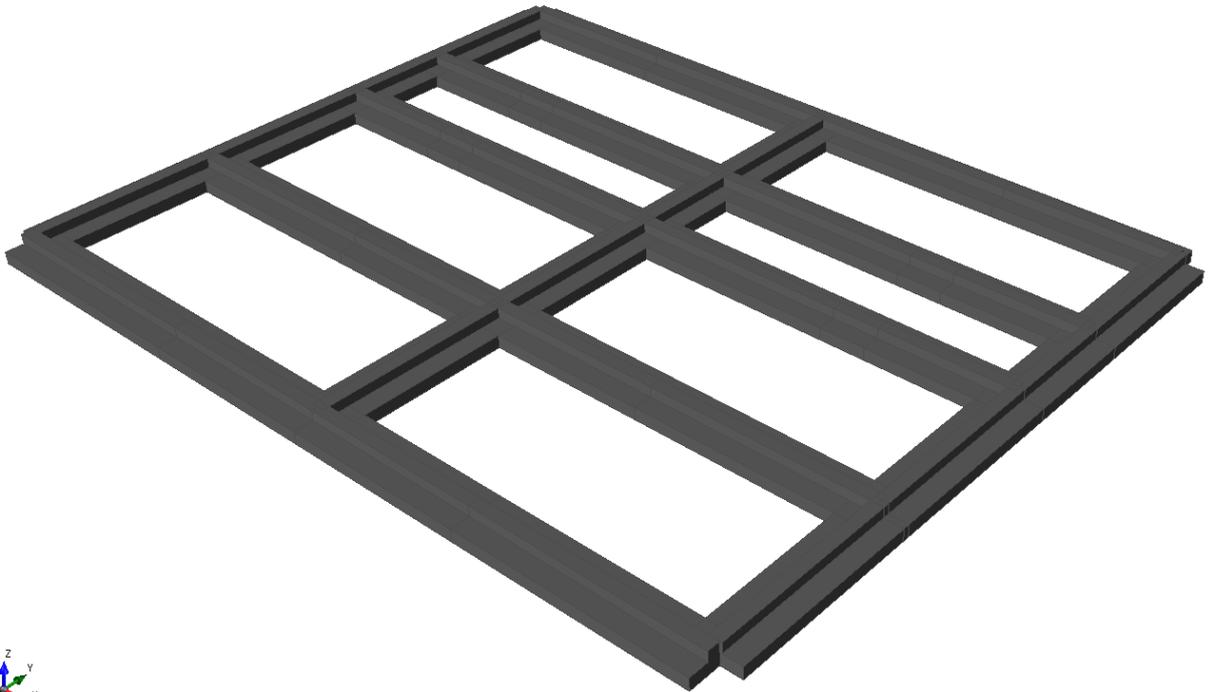


# RELAZIONE GEOTECNICA

Fondazioni in calcestruzzo



# TRAVILOG TITANIUM 6

## Indice

1. Introduzione
  2. Riferimenti legislativi
  3. Indagine geotecnica dell'area
  4. Caratterizzazione geotecnica dei terreni
  5. Analisi dell'interazione struttura-terreno
  6. Progettazione delle fondazioni
- Conclusione

# TRAVILOG TITANIUM 6

# TRAVILOG TITANIUM 6

## 1. Introduzione

Nella presente relazione si illustrano, in osservanza a quanto disposto nel paragrafo 10.1 delle "Norme Tecniche" per le Costruzioni, le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area interessata dagli interventi in progetto. Si fornisce inoltre la caratterizzazione geotecnica dei terreni in sito ed il dimensionamento delle opere di fondazione.

Le fasi di progetto, analisi, calcolo e verifica sono state svolte a "regola d'arte" dal progettista, secondo i dettami della scienza e tecnica delle costruzioni. Per verificare gli elementi strutturali e le sezioni sollecitate dalle azioni di modello ed al fine di garantire la sicurezza della costruzione è stato utilizzato il metodo agli stati limite, rispettando le prescrizioni previste dalle normative di riferimento elencate nel documento. Secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni la relazione di calcolo riporta infine una sezione relativa alle analisi svolte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, al fine di facilitare l'interpretazione e la verifica dei calcoli svolti e di consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del documento.

### 1.1 Descrizione dell'opera

Oggetto del presente documento è il dimensionamento e la verifica di elementi di fondazioni in cemento armato a travi rovesce per un edificio residenziali unifamiliare

In relazione alla classe d'uso in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le opere in progetto che s'intesteranno superficialmente appartengono alla classe II vale a dire opere interessate da normali affollamenti con una vita nominale di 50 anni.

### 1.2 Soggetti coinvolti

**Progettista strutture:**

Ing. Francesco Rossi

**Progettista opera:**

Ing. Francesco Rossi

**Impresa:**

Costruzioni s.r.l

**Proprietà:**

Claudia Aprile

**Progettista architettonico:**

Arch. Mario Rossi

**Direttore Lavori:**

Ing. Marco Bianchi

**Committente:**

Claudia Aprile

**Collaudatore:**

Ing. Claudio Bianchi

**Geologo:**

Geol. Andrea Rossi

# TRAVILOG TITANIUM 6

## 2. Riferimenti legislativi

1. **D.M. LL.PP. 11/3/1988** – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”
2. **Circolare LL.PP. 24/9/1988** n.30483 – L.2.2.1974, n.64 – art.1 – “Istruzioni per l’applicazione del D.M. 11/3/1988”.
3. **D.M. 17 Gennaio 2018** - “Norme Tecniche per le Costruzioni 2018”.
4. **Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n°7 del 11 Febbraio 2019** - “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018”.
5. **Eurocodice 7** – “Progettazione geotecnica” – ENV 1997-1

# TRAVILOG TITANIUM 6

## 3. Indagine geotecnica dell'area

Ai fini del dimensionamento delle opere di fondazione e di interazione struttura-terreno, si è condotta un'analisi conoscitiva dei materiali in sito volta alla definizione della successione stratigrafica, del regime delle pressioni interstiziali e delle caratteristiche meccaniche dei materiali.

### 3.1 Ubicazione dell'opera

**Comune:** Milano  
**Provincia:** (MI)  
**Indirizzo:** via Garibaldi  
**Longitudine:** 9,1815 °  
**Latitudine:** 45,4773 °  
**Zona Sismica:** 3

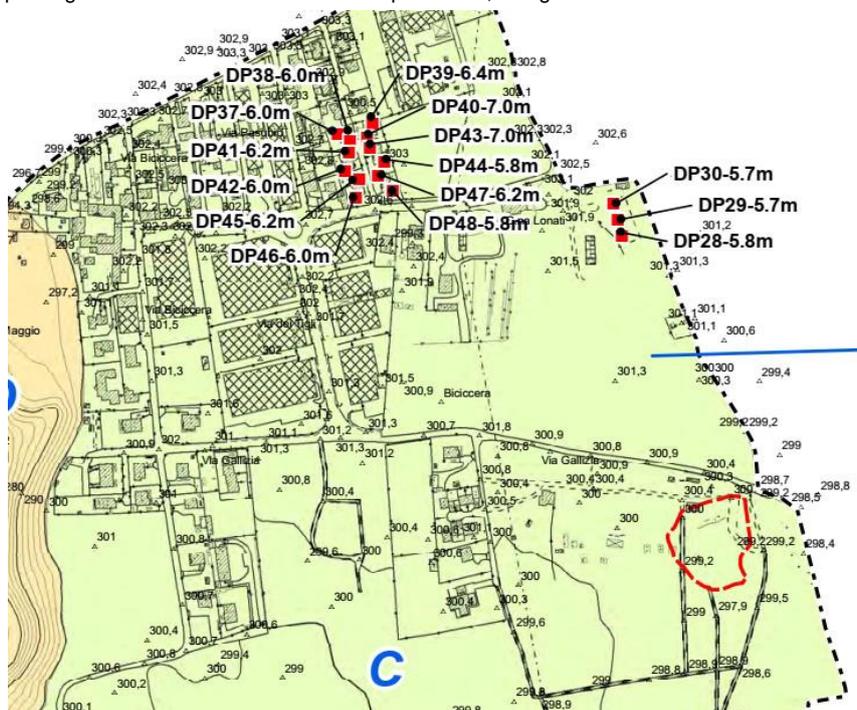
### 3.2 Fonte di acquisizione dati

L'area interessata dall'opera è stata oggetto di una dettagliata indagine conoscitiva al fine di determinare il profilo stratigrafico e le caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione.

Il resoconto dettagliato di tutte le operazioni condotte (tipi e caratteristiche delle attrezzature e particolari esecutivi delle prove) e dei dati raccolti (profili stratigrafici, risultati delle prove e misure eseguite) è riportato in un apposito documento; nei paragrafi che seguono si mostrano i risultati delle interpretazioni dei dati atti ad inquadrare dal punto di vista geotecnico le unità litologiche rilevate in sito.

### 3.3 Indagini e prove geotecniche in sito disponibili

Dalla documentazione geologica di PGT si evince che l'area indagata rientra nell'unità omogenea C costituita da ciottoli, ghiaie e sabbie più o meno limose argillose; proprietà geotecniche mediocri fino a 2-3 di profondità, a seguire terreni ben addensati.



Si è svolta una prova penetrometrica dinamica per classificare dal punto di vista litotecnico il sito, integrata dalle informazioni litotecniche allegate al PGT.

## TRAVILOG TITANIUM 6

Sondaggio	Prova	Profondità indagata [m]	Strumentazione installata	Note
P1	Penetrometrica dinamica	5	PENETROMETRO DINAMICO PENNI 30	si è optato per l'utilizzo di tale apparecchiatura per la notevole praticità

### 3.4 Livello di falda

Il livello di falda è stato indagato mediante piezometri installati nei sondaggi come indicato nella di cui al precedente paragrafo 3. acque sotterranee della falda acquifera principale a 35-40 m dal p.c. ospitate in un acquifero semi protetto; no previste interferenze tra la falda e l'opera in progetto; consistente umidità nei terreni superficiali.

### 3.5 Problematiche geotecniche emerse

Durante la campagna di indagine non sono emerse problematiche geotecniche degne di rilievo. Per garantire la massima efficienza esecutiva delle opere sarà inoltre opportuno rispettare le seguenti ulteriori prescrizioni particolari:

- si consiglia di realizzare gli interventi con la massima rapidità in periodi contrassegnati da scarsi apporti idrici, al fine di evitare sia il fastidioso rammollimento dei terreni sia la presenza di filtrazioni dalle pareti e dal fondo scavo; nel primo caso sarà opportuno riparare gli scavi dall'azione delle acque meteoriche, apponendo teli impermeabili;
- nell'esecuzione degli scavi andrà previsto il sostegno dei fronti, particolarmente ove sia necessario approfondirsi oltre la profondità di 2 m soprattutto se in fregio a fondazioni di edifici esistenti, strade, ecc;
- qualora si evidenzi filtrazione di acque sulle pareti di scavo si dovrà assolutamente prevedere il sostegno degli scavi stessi, in quanto si perderebbe la relativa stabilità dei fronti stessi.
- Le considerazioni sopra effettuate derivano da indagini puntuali, nel caso si riscontrino l'esistenza di condizioni litostratigrafiche difformi da quanto previsto, andrà interpellato il consulente geologo e dovranno essere eventualmente adottati correttivi alle scelte progettuali previste.

# TRAVILOG TITANIUM 6

## 4. Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Alla luce dei risultati ottenuti dalla campagna d'indagine condotta, si presenta nei seguenti paragrafi una descrizione sintetica dei terreni presenti in sito e si riportano i parametri geotecnici rappresentativi delle proprietà geomeccaniche dei materiali indagati.

### 4.1 Tipologia di terreni in sito

**Unità litotecnica 1:** dal p.c. a 1 m dal p.c., Nspt medio 2, terreni verosimilmente costituiti da limo sabbioso, angolo di attrito interno 21 - 22°, peso di volume 1,6-1,7 t/mc, coesione nulla, comportamento frizionale, non saturi, scarsamente addensati, USCS SW;

**Unità litotecnica 2:** da 1 a 1,5 m dal p.c., Nspt medio 17, terreni verosimilmente costituiti da sabbia con ghiaia, angolo di attrito interno 30 - 31°, peso di volume 1,8-1,9 t/mc, coesione nulla, comportamento frizionale, non saturi, discretamente addensati, USCS GM;

**Unità litotecnica 3:** dal 1,5 a 4,8 m dal p.c., Nspt medio 5-8, terreni verosimilmente costituiti da limo sabbioso con rare ghiaie, angolo di attrito interno 24 - 26°, peso di volume 1,8-1,9 t/mc, coesione nulla, comportamento frizionale, non saturi, mediamente addensati, USCS SW;

### 4.2 Geomorfologia

L'area interessata dall'intervento (300 m slm circa) la cui origine è imputabile alle dinamiche alluvionali quaternarie terminate circa 10.000 anni fa, rientra in un contesto pianeggiante nel quale la morfologia più significativa risulta l'incisione del fiume Seveso posta circa 500 m ad Ovest.

L'area è inserita in contesto modestamente urbanizzato e non si sono riscontrati nel territorio immediatamente circostante fenomeni geomorfologici accelerati in atto né tanto meno elementi morfogenetici tali da lasciar supporre rapide future evoluzioni territoriali. L'area pertanto può essere considerata stabile e l'intervento in progetto non altererà tale favorevole situazione.

### 4.3 Inquadramento stratigrafico

Sulla base dei dati disponibili, la situazione stratigrafica in corrispondenza dei diversi punti di rilievo può essere così schematizzata:

Punto di rilievo	Coordinata x [m]	Coordinata y [m]	Coordinata z [m]	Tipo di terreno	Spessore [m]
A	-13	13	0	Sabbia limosa	3
A	-	-	-	Sabbia sciolta	2
A	-	-	-	Sabbia densa	5
B	12	14	0	Sabbia limosa	3
B	-	-	-	Sabbia sciolta	2
B	-	-	-	Sabbia densa	5
C	-12	-10	0	Sabbia limosa	3
C	-	-	-	Sabbia sciolta	2
C	-	-	-	Sabbia densa	5
D	12	-10	0	Sabbia limosa	3
D	-	-	-	Sabbia sciolta	2
D	-	-	-	Sabbia densa	5

# TRAVILOG TITANIUM 6

## 4.4 Caratterizzazione sismica del sottosuolo di fondazione

Con l'emanazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" sono stati approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale (macro-zonazione) riportata in figura.



**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

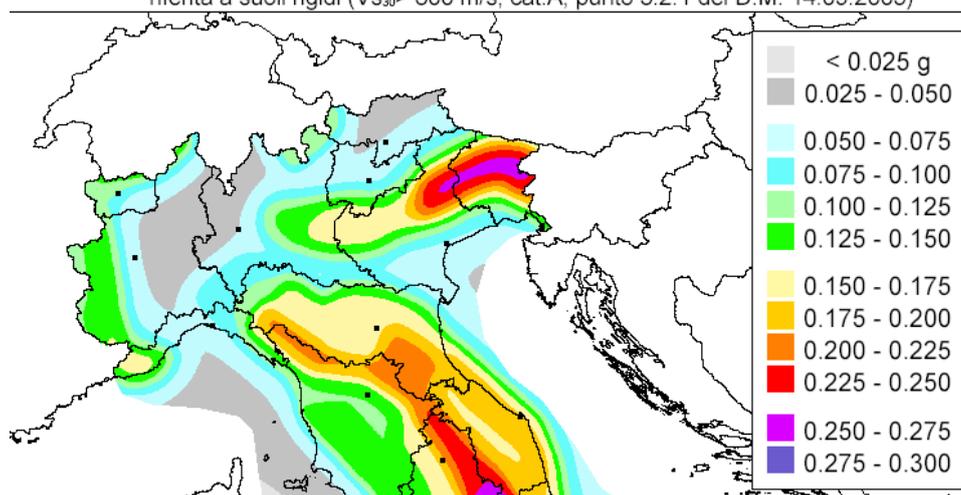
### Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

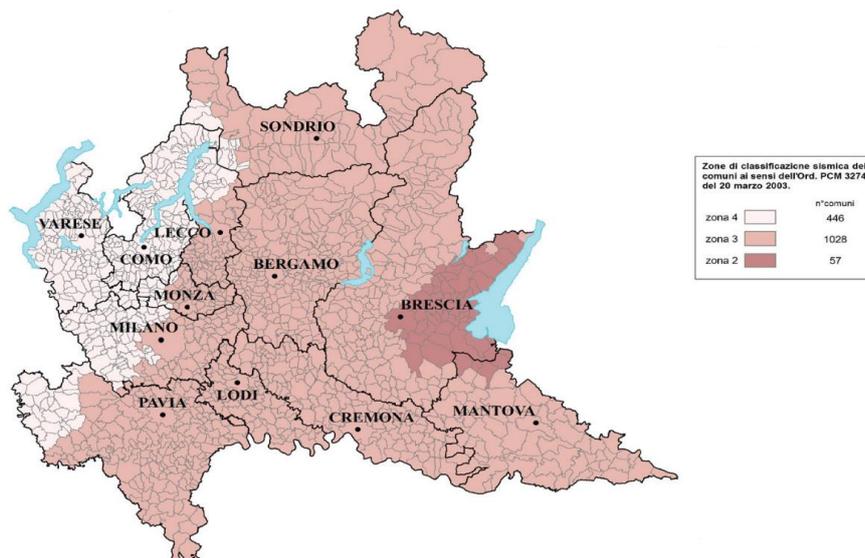


Tale mappatura e i rispettivi valori di accelerazione massima si traducono in zone sismiche così suddivise dalla più gravosa:

ZONA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITA' DI SUPERAMENTO PARI A 10% IN 50 ANNI (m/s)
1	$0,25 < ag < 0,35g$
2	$0,15 < ag < 0,25g$
3	$0,05 < ag \leq 0,15g$
4	$\leq 0,05g$

La regione Lombardia con la D.G.R. del 11 Luglio 2014 n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Lombardia" ha identificato quanto segue:

# TRAVILOG TITANIUM 6



Considerato quanto sopra esposto si rileva che il territorio comunale di Milano rientra completamente in classe sismica terza (34), bassa sismicità.

## Classificazione sismica topografica

Le norme tecniche per le costruzioni espone nel D.M. 14/01/2008 al fine di valutare la microzonazione sismica elencano in ambito topografico alcune condizioni in grado di amplificare in maniera crescente gli effetti di un sisma (valide per rilievi superiori ai 30 m): a) T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $I \leq 15^\circ$ ; b) T2 Pendii con inclinazione media  $> 15^\circ$ ; c) T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media compresa tra 15 e  $30^\circ$ ; d) T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media maggiore di  $30^\circ$ .

Per l'area in corso di studio si tratta a livello generale di una classe T1.

## Classificazione sismica suoli

Altresì le medesime norme identificano in ambito stratigrafico alcune categorie di suolo in base alla misurazione della velocità media delle onde  $V_s$  nei primi 30 m di suolo al di sotto del piano di posa delle fondazioni (vedi allegato).

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

# TRAVILOG TITANIUM 6

Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo (Borchedt, 1994)

TIPO DI SUOLO	Vs min (m/s)	Vs media (m/s)	Vs max (m/s)
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto-poco fratturate)	1400	1620	
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti,	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie	376	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille tenere	100	150	200

In sito si è svolta un'indagine sismica verticale passiva HVSR il cui report è in allegato.

Dalle indagini pregresse allegate alla componente geologica del vigente PGT si desume che i terreni presenti in sito sono classificabili nella categoria sismica suoli "C".

## 4.5 Falda

Il livello della falda di progetto non interessa il piano fondale

## 5. Analisi dell'interazione struttura-terreno

Il presente capitolo ha lo scopo di presentare la tipologia di fondazioni scelte per l'opera in oggetto ed i valori delle grandezze che rappresentano l'interazione della struttura con il terreno in sito.

### 5.1 Tipologia di fondazione

In considerazione dei risultati dell'indagine condotta, del profilo stratigrafico rilevato, delle proprietà geomeccaniche e della tipologia di carichi presenti, si è ritenuto opportuno adottare per l'opera in studio la seguente tipologia di fondazione:

### 5.2 Modello strutturale di calcolo

L'analisi di interazione struttura-terreno in corrispondenza delle fondazioni potrà essere condotta schematizzando il comportamento del terreno a mezzo di molle elastiche lineari indipendenti (terreno alla Winkler).

La costante di sottofondo del terreno è posta pari a:

Tipo di fondazione	Costante di Winkler KW [kN/cm <sup>3</sup> ]
Non presenti	

## 6. Progettazione delle fondazioni

### 6.1 Premessa

Il progetto e la verifica delle fondazioni sono state condotte ai sensi del D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni 2018".

Nei seguenti paragrafi verranno mostrati nel dettaglio, metodi di calcolo e risultati relativi al dimensionamento delle strutture di fondazione scelte.

### 6.2 Verifica di Capacità portante

La verifica di capacità portante del terreno viene condotta in riferimento alle formulazioni classiche di Terzaghi, Brinch-Hansen, Vesic e Meyerhof e facendo riferimento allo stato limite ultimo.

Nel paragrafo dedicato ai risultati del calcolo, sono riassunte le pressioni limite per ciascun metodo di calcolo e per ciascuna struttura di fondazione.

### 6.3 Stima dei cedimenti

Al fine di stimare le deformazioni attese nel terreno di fondazione, si definisce in prima istanza lo stato di tensione indotto nel sottosuolo da un carico applicato a quota imposta fondazione utilizzando la teoria del semispazio elastico isotropo omogeneo di Boussinesq.

La stima dei cedimenti è poi condotta mediante metodo elastico per tutti i tipi di terreno e con metodo edometrico per terreni specificatamente coesivi.

#### Metodo elastico

Applicando il metodo elastico i cedimenti vengono stimati utilizzando l'espressione del cedimento monodimensionale:

$$\delta = \sum_i \frac{\Delta\sigma_{vi} \Delta H_i}{E_i}$$

in cui:

$\Delta H_i$  = spessore dello strato i-esimo in cui è stato suddiviso, ai fini del calcolo, il terreno di fondazione;

$\Delta\sigma_{vi}$  = incremento di pressione verticale medio nello strato i-esimo causato dai carichi esterni attesi;

$E_i$  = modulo elastico medio nello strato i-esimo. Per terreni coesivi si tratta del modulo edometrico.

La sommatoria dei cedimenti è stata estesa fino alla profondità del substrato roccioso rigido.

L'incremento di pressione verticale sotto le fondazioni è valutato utilizzando la teoria del semispazio elastico isotropo omogeneo di Boussinesq, come spiegato nel paragrafo che segue.

#### Metodo edometrico

Per terreni a grana fine i cedimenti possono essere calcolati utilizzando il metodo edometrico, proposto da Terzaghi (1943).

Il terreno al di sotto della fondazioni viene diviso in n strati e per ogni strato si calcola il cedimento con la formula

$$\Delta H_i = H_i [ RR \cdot \text{Log}(k_R) + CR \cdot \text{Log}(k_C) ]$$

con:

$$k_R = \min\{\sigma'_P ; \sigma'_f\} / \sigma'_V0$$

$$k_C = \sigma'_f / \sigma'_P$$

## TRAVILOG TITANIUM 6

$\sigma'_{V0}$  è la tensione geostatica efficace

$\Delta\sigma_V$  è l'incremento di tensione prodotto dal carico netto, calcolato trascurando la rigidità della fondazione e modellando il suolo con un semispazio elastico.

$$\sigma'_f = \Delta\sigma_V + \sigma'_{V0}$$

$$\sigma'_P = \text{tensione di preconsolidazione} = \text{OCR} \times \sigma'_{V0}$$

dove OCR è il rapporto di preconsolidazione.

$H_i$  = spessore dello strato

RR= rapporto di ricomprensione

CR = rapporto di compressione

Il cedimento totale  $w$  è calcolato sommando il cedimento di tutti gli strati in cui  $\Delta\sigma_V > \alpha \sigma'_{V0}$

$$w = \sum \Delta H_i$$

Nel paragrafo dedicato ai risultati geotecnici, sono riassunti i risultati ottenuti per la stima delle deformazioni.

# TRAVILOG TITANIUM 6

## 6.4 Piano di monitoraggio

Data la tipologia di opera in progetto non si ritiene necessario prevedere un piano specifico di monitoraggio.

## 6.5 Risultati del calcolo geotecnico

### Calcolo di capacità portante del terreno

Fondazione	Pressione max N/mm <sup>2</sup>	Pressione limite TERZAGHI N/mm <sup>2</sup>	Pressione limite MEYERHOF N/mm <sup>2</sup>	Pressione limite HANSEN N/mm <sup>2</sup>	Pressione limite VESIC N/mm <sup>2</sup>
Trave Tf.1 0 1	0,170	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.2 0 2	0,124	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.3 0 3	0,176	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.4 0 4	0,085	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.5 0 5	0,111	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.6 0 6	0,155	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.7 0 7	0,126	0,170	0,101	0,096	0,139
Trave Tf.8 0 8	0,098	0,170	0,101	0,096	0,139
Platea P0	0,148	0,382	0,228	0,215	0,313
Platea P1	0,154	0,382	0,228	0,215	0,313

### Stima dei cedimenti attesi

Fondazione	Cedimento min [mm]	Cedimento max [mm]
Trave Tf.1 0 1	-14,60	0,00
Trave Tf.2 0 2	-13,68	0,00
Trave Tf.3 0 3	-15,51	0,00
Trave Tf.4 0 4	-6,51	0,00
Trave Tf.5 0 5	-13,96	0,00
Trave Tf.6 0 6	-15,83	0,00
Trave Tf.7 0 7	-15,41	0,00
Trave Tf.8 0 8	-14,16	0,00
Platea P0	-14,25	0,00
Platea P1	-15,32	0,00

# TRAVILOG TITANIUM 6

## Conclusione

Fattibilità geologica e relative limitazioni: classe II, sottoclasse b, limitazioni legate alle scadenti caratteristiche geotecniche.

Geomorfologia: il sito di origine alluvionale- fluvio-glaciale attualmente stabile rimarrà tale anche in seguito alla realizzazione delle opere in progetto.

**Litologia:** terreni limoso sabbiosi spessi mediamente 3,5 m, con lenti ghiaiose decimetriche sovrastanti terreni fluvio-glaciali ghiaioso sabbiosi con ciottoli.

**Idrogeologia:** acque sotterranee della falda acquifera principale a 35-40 m dal p.c. ospitate in un acquifero semi protetto; no previste interferenze tra la falda e l'opera in progetto; consistente umidità nei terreni superficiali.

**Sismica:** scenario di pericolosità sismica PSL 4a, categoria topografica sismica T1, categoria sismica suoli C.

**Situazione geotecnica:** presenza di terreni da scarsamente a mediamente addensati fino a 4,7 m di profondità, a seguire sedimenti ben addensati.

**Piano di posa delle fondazioni:** superficiale.

**Considerazioni generali:** mediocri prestazioni delle fondazioni intestate sui terreni naturali, suggerita bonifica con riporto e graticcio di fondazioni continue.

**Fronti di scavo:** manterranno un profilo di stabilità a lungo termine per inclinazioni di 55°.

Considerando in sede progettuale quanto sopra esposto e mettendolo in pratica in fase esecutiva, si potranno considerare gli interventi in progetto compatibili con le condizioni geologiche locali.